

## KALIBRASI KAMERA NON METRIK DIGITAL PADA KEGIATAN FOTOGRAMETRI BAWAH AIR

## CALIBRATION OF NON METRIC DIGITAL CAMERA FOR UNDERWATER PHOTOGRAMMETRY ACTIVITY

Muhammad Fikri Anshari<sup>1</sup>, Agung Budi Cahyono<sup>1</sup><sup>1</sup> Institut Teknologi Sepuluh Nopember SurabayaEmail: [agungbc@geodesy.its.ac.id](mailto:agungbc@geodesy.its.ac.id)

## Abstrak

Kalibrasi kamera pada kegiatan fotogrametri bawah air memerlukan perlakuan khusus pada proses kalibrasi kameranya dikarenakan adanya efek pembiasan cahaya antara dua medium yang berbeda. Dari hasil pengambilan data di air dapat dilihat foto mengalami pergeseran ke luar sehingga pendekatan nilai koefisien distorsi radial haruslah dilakukan perhitungan. Proses kalibrasi kamera di udara menghasilkan nilai parameter orientasi dalam ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $f$ ) berturut-turut sebesar 0,065; -0,073; 0,009; 0,004; 0; 0 mm; 0 mm; dan 5,778 mm dengan kesalahan piksel x dan y sebesar 0,002 mm dan 0,003 mm serta nilai parameter orientasi dalam di air sebesar 0,342; 0,312; 0,017; 0,002; 0; 0,039 mm; -0,084 mm; dan 5,759 mm dengan kesalahan piksel x dan y sebesar 0,008 mm dan 0,006 mm. Kesalahan piksel di bawah air bernilai lebih besar dibandingkan nilai kesalahan piksel di udara dikarenakan pengaruh distorsi radial yang cukup besar sebagai akibat dari pembiasan cahaya di medium air. Oleh karena itu, kalibrasi kamera pada kegiatan fotogrametri bawah air harus dilakukan di bawah air dengan nilai pendekatan koefisien distorsi radial menggunakan perhitungan.

Kata Kunci: *Camera Calibration Toolbox*, Distorsi radial, Indeks bias, Kalibrasi kamera, Pembiasan cahaya.

## Abstract

*Camera calibration in underwater photogrammetry needs special treatment on its process because refraction effect between two different mediums. From the data taken in underwater, the image has been shifted to the outside, so estimation of radial distortion coefficient values must be calculated. Interior orientation parameter values ( $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $f$ ) from camera calibration process in the air respectively 0.065; -0.073; 0.009; 0.004; 0; 0 mm; 0 mm; and 5.778 mm with pixel error x and y respectively 0.002 mm and 0.003 mm and interior orientation parameter values in underwater of 0.342; 0.312; 0.017; 0.002; 0; 0.039 mm; -0.084 mm; and 5.759 mm with pixel error x and y of 0.008 mm and 0.006 mm. Pixel error in underwater is greater than pixel error in the air due to the effect of large radial distortion as a result of the refraction of light in water medium. Therefore, camera calibration in underwater photogrammetry should be done in underwater with estimation of radial distortion coefficient value must be done in calculations.*

*Keywords: Camera calibration, Camera Calibration Toolbox, Index of refraction, Radial distortion, Refraction*

## PENDAHULUAN

## Latar Belakang

Kamera non-metrik pada sejatinya tidak didesain untuk keperluan fotogrametri dikarenakan kualitas geometriaknya yang kurang. Hal ini mengakibatkan penentuan posisi pada foto yang dihasilkan menjadi kurang akurat pula. Sehingga, sebelum digunakan untuk kegiatan fotogrametri kamera yang akan digunakan haruslah dikalibrasi terlebih dahulu. Selain untuk memperbaiki fokus

kamera serta parameter orientasi dalam kamera, diasumsikan ada faktor lain yang mempengaruhi hasil kalibrasi dikarenakan adanya perambatan cahaya di medium air. Untuk dapat mengamati pengaruh perambatan cahaya di medium air, maka perlu kiranya dilakukan kegiatan kalibrasi di udara dan di air.

Pada penelitian sebelumnya mengenai kegiatan fotogrametri bawah air (Diamanti, et al., 2011), diasumsikan adanya parameter lain yang perlu diperhatikan dalam kalibrasi kamera di bawah

air, sehingga dugaan sementara dari Diamanti dkk menyatakan tidak ada model matematis yang bisa menjelaskan parameter tersebut. Pada kegiatan kalibrasi kamera di penelitian ini, akan dicoba untuk dijelaskan persamaan matematis yang diperlukan untuk kegiatan kalibrasi kamera di bawah air.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Data Dan Peralatan

#### - Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Foto bidang kalibrasi berupa susunan titik yang membentuk grid.
2. Koordinat piksel pada foto dan koordinat titik pada bidang kalibrasi

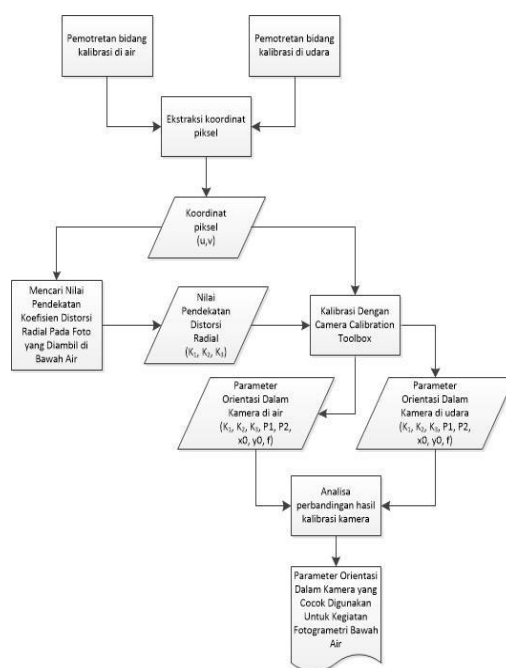
#### - Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Kamera Digital Nikon Coolpix AW130 dengan resolusi maksimum 16 Megapixel serta focus 4 mm
2. Akuarium kaca yang terisi air
3. Laptop dengan spesifikasi prosesor Intel Core i3 dan RAM 4 GB untuk pengolahan data
4. Perangkat lunak MatLab yang dilengkapi *coding Camera Calibration Toolbox* (Bouguet, 2013)

### Metode Penelitian

Pada penelitian ini, tahap pengolahan data dapat dilihat pada diagram alir berikut ini.



Gambar 1. Diagram Alir Pengolahan Data

Pengambilan foto masing-masing dilakukan sebanyak 4 kali dikarenakan dalam kegiatan *Laboratory Camera Calibration* perlu digunakan lebih dari satu foto dengan  $\kappa$  yang berbeda jika foto tersebut memiliki ketinggian yang sama (misalkan bidang kalibrasi)(Wolf & Dewitt, 2000). Dikarenakan adanya pengaruh pembiasan cahaya yang mengakibatkan objek terlihat lebih besar ketika di foto, maka nilai koefisien distorsi radial harus didekati dengan persamaan berikut(Wolf & Dewitt, 2000):

$$r' - r = K_1 r + K_2 r^3 + K_3 r^5 \quad (1)$$

dengan nilai  $K$  merupakan koefisien distorsi radial dan  $r'$  merupakan jarak foto terdistorsi yang diperoleh dari pengamatan langsung. Untuk mengetahui nilai  $r$  yang merupakan jarak sebenarnya, digunakan persamaan berikut ini:

$$r^2 = \frac{9r'^2 f^2}{7r'^2 + 16f^2} \quad (2)$$

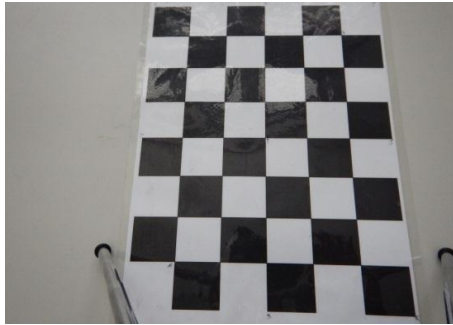
Pers(2) merupakan persamaan Hukum Snell yang digabungkan dengan aturan pythagoras untuk mengetahui jarak  $r$  yang sebenarnya dengan menggunakan panjang fokus  $f$ . Koordinat piksel didapat dari estimasi dengan cara menentukan titik pojok foto grid. Titik awal serta rotasi pengambilan titik pojok harus sama untuk setiap foto. Hasil kalibrasi kamera di udara serta di air akan dibandingkan untuk mengetahui teknik

kalibrasi kamera yang efektif untuk diaplikasikan pada kegiatan fotogrametri bawah air.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengambilan Foto di Udara

Kalibrasi kamera selayaknya dilakukan karena kamera Nikon Coolpix AW130 diasumsikan memiliki parameter kamera yang tidak stabil dikarenakan sifatnya sebagai kamera non-metrik. Kalibrasi kamera dilakukan untuk mendapatkan parameter internal kamera ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $f$ ). Kalibrasi kamera dilakukan dengan menggunakan *Camera Calibration Toolbox*. Pengambilan data dilakukan pada bidang kalibrasi berbentuk papan catur berukuran 27,2 × 20,4 cm.



Gambar 2 Contoh Foto Hasil Pengambilan data di Udara

### Pengambilan Data di Air

Agar hasil kalibrasi kamera dapat dipastikan bisa digunakan untuk kegiatan fotogrametri bawah air, kamera haruslah juga dilakukan kalibrasi kamera di bawah air. Kalibrasi kamera dibawah air ini dilakukan untuk menguji kestabilan parameter kamera di air sehingga kamera bisa dinyatakan layak untuk digunakan pada kegiatan fotogrametri bawah air. Adapun parameter yang dicari, nilai pendekatan, serta ukuran grid yang digunakan masih sama seperti proses kalibrasi kamera di udara.



Gambar 3. Contoh Foto Hasil Pengambilan di Air

Pada Gambar 3, terlihat pergeseran foto cenderung mengarah ke luar (*pincushion*), sehingga nilai koefisien distorsi radial tidak bisa didekati dengan nilai nol. Untuk meminimalisir efek distorsi radial ini maka pendekatan nilai perhitungan koefisien distorsi radial harus dihitung dengan Pers(1). Hasilperhitungannilaipendekatankoefisiendistorsi radial ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ) berturut-turut yaitu 0,0109; -0,006; serta 0.

### Kalibrasi Kamera di Udara

Tabel 1. Hasil Kalibrasi Kamera di Udara Dengan Menggunakan *Camera Calibration Toolbox*

Parameter	Nilai Parameter		Standar Deviasi
$f_x$	4301,438 piksel	5,760 mm	530,706 piksel
$f_y$	4402,815 piksel	5,796 mm	614,596 piksel
$x_0$	2303,500 piksel	0 mm	
$y_0$	1727,500 piksel	0 mm	
$K_1$	0,065		0,048
$K_2$	-0,073		0,218
$K_3$	0,009		0,004
$P_1$	0,004		0,004
$P_2$	0		0
$\text{pix. err } x$	1,889 piksel	0,002 mm	
$\text{pix. err } y$	2,052 piksel	0,003 mm	
$f$		5,778 mm	

Dari kedua hasil kalibrasi yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa nilai panjang focus memiliki perbedaan yang relative kecil sebesar 0,019 mm, sehingga seharusnya baik melakukan kalibrasi kamera di air maupun di udara sama-sama bisa digunakan untuk kegiatan fotogrametri bawah air. Tetapi dari hasil pengambilan data di air terlihat foto mengalami pergeseran keluar (*pincushion*), sehingga dari pengamatan terhadap hasil pengambilan data dapat disimpulkan bahwa efek pembiasan cahaya berpengaruh terhadap distorsi radial kamera yang mengakibatkan pertambahan jarak radial pada foto serta pergeseran radial keluar.

Tabel 2. Hasil Kalibrasi Kamera di Air Dengan Menggunakan *Camera Calibration Toolbox*

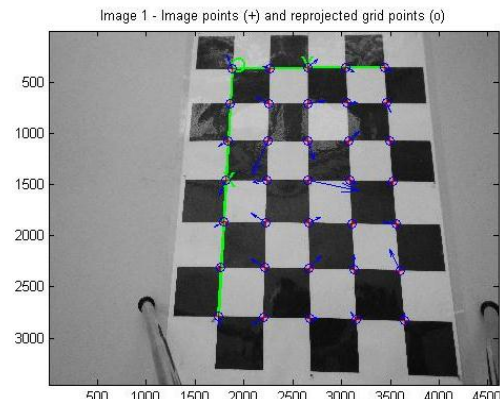
Parameter	Nilai Parameter		Standar Deviasi	
$f_x$	4301,438 piksel	5,760 mm	530,706 piksel	0,711 mm
$f_y$	4402,815 piksel	5,796 mm	614,596 piksel	0,809 mm
$x_0$	2303,500 piksel	0 mm		

$y_0$	1727,500 piksel	0 mm
$K_1$	0,065	0,048
$K_2$	-0,073	0,218
$K_3$	0,009	0,004
P1	0,004	0,004
P2	0	0
pix. err x	1,889 piksel	0,002 mm
pix. err y	2,052 piksel	0,003 mm
f		5,778 mm

Terlihat selisih nilai  $K_1$ ,  $K_2$ , serta  $K_3$  pada hasil kalibrasi di air serta udara sebesar 0,277; 0,385; dan 0,008. Selisih yang cukup besar ini yang mengakibatkan kelengkungan pada foto terlihat lebih jelas. Distorsi radial yang bernilai positif menunjukkan pergeseran radial mengarah keluar (*pincushion*). Nilai kesalahan piksel di bawah air bernilai lebih besar dibandingkan nilai kesalahan piksel di udara dikarenakan pengaruh distorsi radial yang lebih besar pada foto yang diambil di bawah air yang mengakibatkan selisih antara koordinat foto terukur di air dengan koordinat foto hasil hitungan bernilai lebih besar dibandingkan selisih antara koordinat foto terukur di udara dengan koordinat foto hasil hitungan.

Berdasarkan penjabaran di atas, pada kegiatan fotogrametri bawah air kamera yang akan digunakan haruslah juga dikalibrasi di air. Hal ini diperlukan mengingat efek pembiasan cahaya yang terjadi berpengaruh terhadap distorsi radial kamera. Oleh karena itu, pada saat melakukan proses kalibrasi, nilai pendekatan distorsi radial tidak bisa didekati dengan nilai nol, tetapi dengan menggunakan persamaan distorsi radial dengan menggunakan selisih nilai  $r$  dari koordinat foto dengan nilai  $r$  sebenarnya yang didapat dari persamaan Hukum Snell.

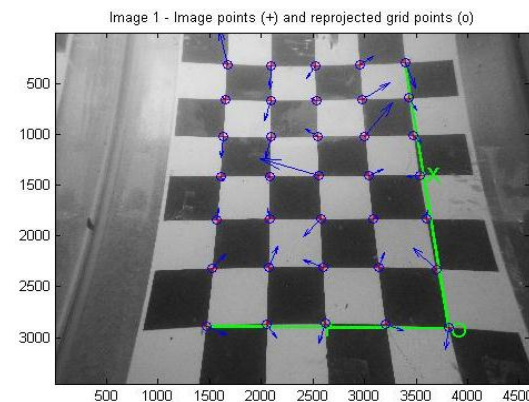
### Reproyeksi Titik Koordinat di Udara



Gambar 4. Contoh Model Reproyeksi Pada Foto di Udara

Dari model reproyeksi yang dihasilkan dapat dilihat bahwa plot kesalahan yang dihasilkan mengarah ke segala arah. Hal ini menunjukkan bahwa kamera telah terkalibrasi dengan baik dengan kesalahan piksel sumbu x hanya sebesar 0,002 mm serta kesalahan piksel sumbu y sebesar 0,003 mm.

### Reproyeksi Titik Koordinat di Udara



Gambar 7. Contoh Model Reproyeksi Pada Foto di Air

Dari semua model distorsi yang dihasilkan dapat dilihat bahwa arah distorsi cenderung mengarah secara tidak beraturan. Hal ini menunjukkan bahwa kamera telah terkalibrasi dengan baik dengan kesalahan piksel sumbu x hanya sebesar 0,008 mm serta kesalahan piksel sumbu y sebesar 0,006 mm.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Proses kalibrasi kamera menghasilkan nilai parameter orientasi dalam di udara ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $f$ ) berturut-turut sebesar 0,065; -0,073; 0,009; 0,004; 0; 0 mm; 0 mm; dan 5,778 mm dengan kesalahan piksel  $x$  dan  $y$  sebesar 0,002 dan 0,003 mm serta nilai parameter orientasi dalam di air sebesar 0,342; 0,312; 0,017; 0,002; 0; 0,039 mm; -0,084 mm; dan 5,759 mm dengan kesalahan piksel  $x$  dan  $y$  sebesar 0,008 dan 0,006 mm. Nilai kesalahan piksel di bawah air bernilai lebih besar dibandingkan nilai kesalahan piksel di udara dikarenakan pengaruh distorsi radial yang lebih besar pada foto yang diambil di bawah air dibandingkan foto yang diambil di udara.
2. Terdapat perbedaan nilai koefisien distorsi radial ( $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ) yang cukup besar antara hasil kalibrasi kamera di air dan udara (0,277; 0,385; 0,008) dikarenakan efek pembiasan cahaya yang berpengaruh terhadap distorsi radial kamera sehingga mengakibatkan pertambahan jarak radial pada foto serta pergeseran radial keluar (*pincushion*). Oleh karena itu, kamera yang akan digunakan pada kegiatan fotogrametri bawah air harus dikalibrasi di bawah air juga dengan, nilai pendekatan koefisien distorsi radial didekati dengan menggunakan persamaan distorsi radial dengan menggunakan selisih nilai  $r$  dari koordinat foto terdistorsi dengan nilai  $r$  sebenarnya yang didapat dari persamaan Hukum Snell.

#### Saran

1. Kegiatan ini bisa diteruskan dengan menggunakan data sesungguhnya di lapangan pada kegiatan fotogrametri bawah air.
2. Pada proses kalibrasi kamera di bawah air, nilai koefisien distorsi radial haruslah didekati terlebih dahulu..
3. Perhatikan arah pergeseran titik pada foto. Jika arah pergeseran menuju kedalam (*barrel*) maka nilai  $\Delta r$  bernilai negatif. Tetapi jika arah pergeseran menuju keluar (*pincushion*) maka nilai  $\Delta r$  bernilai positif.
4. Untuk penelitian kedepan bisa menggunakan foto yang lebih banyak maupun dengan titik kontrol yang lebih

banyak untuk meningkatkan kualitas kalibrasi kamera yang dihasilkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bouguet, J. "Camera Calibration Toolbox for MatLab". 2013. [http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc/\(2 Desember2013\)](http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/(2%20Desember2013)).
- Diamanti, E., dkk, 2011. Geometric Documentation of Underwater Archaeological Sites. XIII CIPA International Symposium.
- Wolf, P. R. dan Dewitt, B. A., 2000. Elements of Photogrammetry with Applications in GIS: 3rd Edition. New York: McGraw Hill.